

جمعية المهندسين الملكية المصرية

النشرة الثالثة من السنة الرابعة عشر

١١٦

محاضرة

نفق الاحايوة

ألقاها

الدكتور شارل أندريا

ألقيت بجمعية المهندسين الملكية المصرية

بتاريخ ٢٥ يناير سنة ١٩٣٤

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الاكبر بمصر

الجمعية ليست مسئولة عما جاء بهذه الصحائف من البيان والآراء

تنشر الجمعية على أعضائها هذه الصحائف للنقد وكل نقد يرسل للجمعية يجب أن يكتب بوضوح وترفق به الرسومات اللازمة بالحبر الأسود (شيني) ويرسل برسمها .

نفق الاحايوه

المحاضرة

التى ألقاها الدكتور شارل أندريا

فى جمعية المهندسين الملكيين

بالقـــاهرة

فى يوم ٢٥ يناير سنة ١٩٣٤

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الاكبر لصاحبها محمود الخضرى

نفق الاحايوه

إنى لأشعر بعظيم الغبطة والشرف أن تتاح لى فرصة إلقاء محاضرة على هذه الجمعية الموقرة عن أول نفق ينشأ فى مصر الحديثة . وأقول مصر الحديثة لأن المصريين القدماء أنشأوا فى الزمن الغابر فى سقارة وطيبة وفى أمكنة أخرى نفقا ولو أنها كانت لأغراض مختلفة وذات أحجام صغيرة إلا أنها كانت ذات مقاسات تجعلنا أحياناً نعجب كيف أمكنهم تشييدها بل وكم من الوقت أستغرقهم تنفيذها .

وإنى لست بمحاضركم فى مشاريع الرى الناجمة عن إقامة قناطر نجع حمادى إذ أن كثيراً منكم هنا أحق منى فى الكلام عن هذا الموضوع . فلا تتوقعوا منى إذن شيئاً من ذلك .

تعلمون أن هناك ترعتان طويلتان كبيرتان تبدآن من أمام القناطر الجديدة إحداهما على شاطىء النيل الأيسر وتسمى الترعة الفؤادية والأخرى وهى الأطول - إذ يبلغ طولها (٦٥ كيلو متراً) - على شاطىء النيل الأيمن وتسمى الترعة الفاروقية . وفى مواجهة جرجا يبدو ذلك المتسع من الأرض المحصور بين النيل وتلال الصحراء ضيقاً فتحد هذه التلال النيل وقبل أن

تصل إلى جبل الأحايوة تسقط هذه التلال الصخرية رأساً فى النهر ولقلة ارتفاعها أمكن حفر القناة فيها بنسف الصخر.

وبالقرب من كيلو ٤٧ وفى طول نحو ألف متر يقف جبل الاحايوة حائلا إذ يبلغ ارتفاعه نحو ١٨٠ متراً فوق محور الترعة فيتعذر تخطيها له إلا بعمل نفق شكل (١)

الجيولوجيا : وفى أغسطس سنة ١٩٢٨ امتحن المستر جرلد روبنسن ـ الذى كان وقتئذ مديراً للمساحة الجيولوجية ـ الموقع جيولوجيا لبناء نفق بطول ٧٠٠ متر . فتوقع أن يقع الثلث الجنوبى منه فى صخور جيرية ذات طبقات سميكة وثلثه المتوسط فى صخور جيرية ذات طبقات متوسطة السمك وثلثه الشمالى فى صخور جيرية ذات طبقات عقدية وصخور طفلية .

التصميم : لما كان تصميم هذا النفق أول خبرة من نوعها لمهندسى الرى المصريين فقد طلب إلىّ أن أقدم لهم بعض النصائح والمساعدة . وكان فى أكتوبر سنة ١٩٢٨ أن سؤلت لأول مرة أن أزور الموقع مع صاحبي العزة ابراهيم بك رزق ونجيب بك ابراهيم لأقدم آرائى فى الموضوع . وبعد ذلك طلبت منى وزارة الأشغال أن أكون المهندس الاستشارى لتنفيذ العمل .

فكانت أولى المسائل اختيار أصغر قطاع ممكن لتفادى المصاريف الباهظة على أن يكفى ذلك لتصريف ٥٠ متراً مكعباً فى الثانية . وقد حدد الانحدار بمقدار ٢٥ سم فى الكيلو. وليست الحسابات النظرية للتصرف

فى مثل هذا النفق مخـالفة لحسابات الترع المفتوحة طالما يظل القطاع غير ممتلىء . غير ان الصعوبة كانت فى التوصل الى معامل الاحتكاك الحقيقى .

وقد حسب التصرف باستعمال قوانين شزى (Chezy) وجانجويللو وكتر (Gangiullot & Kutter)

شزى $\text{س} = \text{ك} \sqrt{\text{م}\,\text{ا}}$

حيث س = السرعة

م = نصف القطر الايدروليكى

ا = الانحدار

جانجويللو وكتر: $\text{ك} = \dfrac{٢٣ + \frac{١}{\text{ن}} + \frac{٠,٠٠١٥٥}{\text{ا}}}{١ + \left(٢٣ + \frac{٠,٠٠١٥٥}{\text{ا}}\right)\frac{\text{ن}}{\sqrt{\text{م}}}}$

وقد اختيرت ن = ٠,٠١٣ وهذا الرقم مأخوذ من نشرة الدكتور بوشى (Dr. I. Bucchi) فى مجلة سويزريخ بوزيتنج السويسرية فى سنة ١٩٢٨ .

والدكتور بوشى مهندس سويسرى إخصائى فى مشـاريع القوى الايدروليكية الكهربائية وقد قام بعدة مقاسات فى نفق مختلفة ــ مفتوحة وتحت ضغط ــ ذات بطانات مختلفة وبغير بطانات فوجد أن المعامل هو ٠,٠١٣ لبطانة الاسمنت المضغوط .

وقد اقترحت القطاعات المبينة فى شكل (٢) غير أن القطاع ١ لم يستعمل . وقد كان مفروضا أن يترك الجزء الجنوبى من النفق بغير بطانة ولكن وجد أن الصخر فى ذلك الجزء كان لينا على غير ما كان منتظراً فبطن النفق بأكمله . ولم تكن الزيادة الناجمة فى المصاريف بكبيرة إذ أمكن

استعاضة القطاع حـ الذى كان متوقعاً استعماله فى طول كبير من الجزء الشمالى بالقطاع ب الأقل كلفة . أما القطاع ب . فقد استعمل لمدة أمتار عند نهايتى النفق .

ومن وجهة النظر الايدروليكية يكون المدخل والمخرج أشد المواقع حساسة . وذلك عند اتصال القطاع الضيق للنفق (٨٫٨٦ متراً عند القاع) بقطاع الترعة الواسع (٢٦ متراً) . فلم يختلف العرض فقط بل اختلف ميل الحائط داخل النفق من ١ : ٥ إلى ١ ½ : ١ وهى الميول الجانبية للترعة . وفى مشاريع قوى المياه فى أوربا تعمل هذه الوصلة عادة بكيفية سهلة كما هو مبين فى شكل (٣) . حيث يوصل ا ا' ، ب بَ بخطوط مستقيمة فيتدرج الميل من البداية إلى النهاية ويكون السطح الناتج منحنياً (مكافىء زائدى) ومن السهل عمله حيث تشد خيوط البناء من وتد إلى آخر كخط القاعدة والمهم فى ذلك هو طول المنحنى التدرجى (الزاوية α) . وهذه العملية دقيقة وخصوصاً للمخرج حيث يكبر تأثير فرق المنسوب . فأن شكل المنحنى التدرجى يؤثر فى استعاضة المنسوب عند المخرج أكبر من فقدان المنسوب عند المدخل .

ولتوخى الدقة عملت تجارب فى معمل الأيدروليكا بمدرسة الهندسة الملكية بمعرفة البروفسور أديسون على أشكال مختلفة من السطوح التدرجية فوجد أن أحسن شكل لهذه يشبه جداً الشكل الذى شرح سابقا.

التنفيــذ : طرح العمل فى المناقصة فى صيف عام ١٩٢٩ وفى يناير سنة ١٩٣٠ أعطى العمل للشركة السويسرية رثبلتزو لينهارد (Rothpletz & lienhard) المشهورة فى اوربا بخبرتها العظيمة فى أعمال النفق وقد قامت

هذه الشركة بالعمل بمعرفة الدكتور ستروس (Dr. Stross) من الأسكندرية ولقد أختير عطاء هذه الشركة لأنها اقترحت أن تبنى العقد من الحجر بدلا من بلوكات الخرسانة كما فعل الآخرون وقد فضلت الوزارة هذا الاقتراح. وكان العطاء بمبلغ

١٧١٥٩٠ جنيها مصريا للنفق
١٩٠٩٧ « « لجزء المجرى المفتوح
١٩٠٦٨٧ « «

ولما كانت فيات أعمال النفق فى تراوح دائم فقد نص فى البند ٢٠ من المواصفات على أن المقادير تقريبية فقط فأطوال القطاعات مختلفة وهذا ما حصل إذ وجد أن الصخر فى الجزء الشمالى أحسن وفى الجزء الجنوبى ألين مما كان مفروضا.

وعلى ذلك فقد بلغ الحساب الختامى
١٨٨١٠٢٫٢٢٤ جنيها مصريا للنفق
٢٢٨٣٨٫٠٠٧ « « لجزء المجرى المفتوح
٢١٠٩٤٠٫٢٣١ « «

خصم منها مبلغ ١٧٦٫٣٩٢ جنيها مصريا ثمنا للحجارة المستعملة فى البناء.

وقد بدأ المقاول فى الحال بأقامة اللوازم فى المكان وأقامت وزارة الأشغال استراحة للمهندس المقيم.

وقد كان المهندس المقيم هو المستر لنج (Mr. Long) ولكنه سافر إلى

انجلترا فى ديسمبر سنة ١٩٣١ وأخذ مكانه سعيد فريد أفندى . وقد كان حضرتهما تحت اشراف مدير المشروعات والمهندس المقيم فى قناطر نجع حمادى الذى كان فى البداية صاحب العزة نجيب بك ابراهيم ثم بعد ذلك المستر اليسون (Ellison) . وقد طلب منى معالى عثمان محرم باشا وزير الأشغال أن أساعدهم كمهندس استشارى ويسرنى أن أذكر هنا الوئام التام الذى صادفته مع حضراتهم والمعونة الحقيقية التى كللت جهودى بالنجاح .

وإنى أشكر رؤساء حضراتهم مثل عبد المجيد عمر بك المدير العام للخزانات وبالأخص سعادة محمد عثمان بك وكيل الوزارة الذى سيظل اسمه مرتبطا بأقامة أول نفق مصرى .

ويحتاج النفق لكثير من الأعمال الابتدائية . أما حفر النفق فى الأراضى الصخرية فيحتاج إلى التنقيب حيث تعمل الثقوب فى الصخر بقطر نحو ٣٠ ملليمتراً وطول يختلف باختلاف الصخر — فالصخر الصلب يحتاج إلى عدد كبير من الثقوب القصيرة والصخر اللين يحتاج إلى عدد قليل من الثقوب الطويلة — وتملأ هذه الثقوب بمادة مفرقعة تقاد بكبريت خاص . وأذكر أن المفرقع المستعمل فى هذه الحالة كان الجلجنيت (Gelignite) وهو مفرقع جلاتينى يحتوى على ٦٢٪ من المواد المفرقعة . وهو مصنوع فى انجلترا . ولا يمكن استعمال مسحوق البارود فى أعمال النفق إذ بالرغم من ضعفه يصعب وضعه فى ثقوب متجهة لأعلا . ويفى المسحوق الجلاتينى الموضوع فى خراطيش ذات قطر أقل من قطر الثقب بمليمترات معدودة بالغرض تماماً جداً . هذا ومسحوق البارود خطر جداً

إذ يكفى لشرارة مصـــباح نفق أو سيجارة أو ما شاكلها أن تحدث فيه فرقعة .

والمفرقعات الوحيدة التى يمكن استعمالها هى المفرقعات التى تصبح عاملة بالاشتعال . وأول مادة من هذا النوع هى الديناميت وقد اخترعها نو بل (Nobel) وهى عبارة عن نيترو جلسرين (Nitroglycerine) مع نسبة مئوية صغيرة من مادة خاملة . وهذه المادة قوية جداً وتستعمل فى حفر النفق الطويلة الموجودة فى صخور صلبة . ولـكن من مساوىء هذه المادة أن درجة تجمدها عند +٨° سنتيجريد وعند ما تتجمد تتأثر جداً بالهزات وتصبح خطرة . من ذلك ولدرء مثل هـذا الخطر اخترعت مفرقعات أخرى فيها القليل من النيترو جلسرين و بعضها ليس فيها شىء منه (تروتيل ـ أمو نيا ـ سالبتر ـ الخ) (trotyle, ammonia,Salpeter, etc.) وهى تمتاز بأن درجة تجمدها أوطأ بكثير وأنها لا تتأثر بالاهتزازات . غير أن هذه المواد أضعف من الديناميت ولـكنها أقوى من مسحوق البارود . ولقد اختير الجلجنيت لأنه المادة المفرقعة الوحيدة التى يمكن الحصول عليها فى مصر حيث يستوردها الخواجات توماس كوك وولده وهم أصحاب الامتياز فى بيعها . ولقد برهن الجلجنيت على صلاحيته إذ كانت نتائجه مرضية وأذكر أن المقدار المتوسط الذى لزم لحفر النفق كان ٢ر٥٤ كجم للمتر المـكعب ولحفر قطاع الترعة ٠ر٤٨ كجم للمتر المـكعب .

وقد جهزت عملية التنقيب بالآلات فكانت تعمل الثقوب بواسطة مطارق تشتغل بضغط الهواء فتدق الأعمدة الثاقبة وتديرها وتشتغل هذه

المطارق تحت ضغط من نحو ٤ — ٥ أجواء وتستهلك نحو ١ر٥ متراً مكعباً من الهواء فى الدقيقة فى الضغط العادى .

وقد استعملت ضاغطات الهواء لأمداد المطارق بالهواء اللازم .

ومن الضرورى عند الاشتغال تحت الأرض أن تعمل تهوية صناعية إذا لم يكن هنـاك تيار طبيعى يقوم مقامها . وقد كانت التهوية الصناعية لازمة حتى تقابلت فتحتا النفق . ويمكن حساب كمية الهواء كالآتى : —

يلزم للرجل الواحد ٣٥٠ مترا مكعباً من الهواء فى ٢٤ ساعة أى ٠ر٠٤ متراً مكعباً فى الثانية ويضرب هذا الرقم فى أكبر عدد ممكن من الرجال يمكن أن يشتغلوا فى وقت واحد داخل النفق فمائة رجل مثلا يلزمهم ٠ر٤ مترا مكعبا من الهواء فى الثانية ولكن يجب اضافة مقدار مخصوص المقدار السابق للفرقعة داخل النفق ويقدر ذلك بمقدار ٣٠٠ مترا مكعباً للكيلو جرام الواحد من المادة المفرقعة وعلى ذلك يجب إضافة نحو ٠ر٣٥ مترا مكعبا من الهواء فى الثانية لكل مائة كيلوجرام من المادة المفرقعة فى اليوم . وهذا يعطى لمائة رجل ومائة كيلو جرام مفرقعات نحو ٠ر٧٥ مترا مكعبا من الهواء فى الثانية .

وهذه الأرقام واطئة إذ فضل المقاول أن يحفر النفق من الجهتين بسرعة كما سيبين بعد وأن يشتغل بكل الأيادى فى حفر قطاع الترعة ثم فى عمل البطانة بعد ان يتقابل الحفر من الناحيتين .

وقد لزم أن يمد الموقع بمياه الشرب وبأغراض أخرى مثل حجر البناء والخراسانة والقاطرات وتبريد الآلات والغسيل والنظافة والطبخ الخ

وقد لزم إمداد المكان بالأضاءة الكهربائية لا للنفق نفسه ولكن للمساكن والجزء المجرى المفتوح . وكان لكل عامل مصباح خاص به (مصباح استيلين)

وقد احتاج كل هذا الى آلات هامة بنيت من أجلها سقائف ومبانى .

ولما كانت جرجا ومنشاة — أقرب مكانين — على الشاطىء المقابل من النيل بعيدتين عن الموقع جدا . ولما لم يكن هناك مساكن فى الاماكن المجاورة كان من الضرورى أن يبنى بجوار المبانى السابقة مخازن ومساكن للمهندسين والعمال الفنيين والكتبة وغيرهم .

وشكل (٤) يبين المبانى التى أنشأها المقاول عند الموقع بالقرب من الحد الشمالى للنفق .

الآلات : وضعت الآلات الآتية فى الجهة الشمالية

عدد

٢ موتور ديزل قوة ٨٠ حصاناً لكل منها = ١٦٠ حصاناً

٢ » » » ٥٠ » » = ١٠٠ »

٢٦٠ »

وقد أدار كل من هذه الموتورات ضاغطاً دائراً فأدار الموتور ذو الثمانين حصاناً منها ضاغطاً لشفط ٨ م^{٣} فى الدقيقة والخمسين حصاناً ضاغطاً لشفط ٤٫٥ م^{٣} فى الدقيقة وقد لزم لشفط الثمانية أمتار مكعبة ٦٥ حصاناً فقط والأربعة أمتار مكعبة ونصف ٣٨ حصاناً لكل منها .

واستعملت القوة الباقية للطلمبات ولأدارة محرك للأضاءة . وحتى

تقابلت ناحيتا النفق كان يستعمل أحد الموتورات الديزل ذات الخمسين حصانا لأدارة مهو .

ووضع فى الجهة الجنوبية فى كشك من الخشب موتوراً ديزلاذا ٥٠ حصاناً كان يدير ضاغطاً من النوع الصغير (٤ر٥ م٣ فى الدقيقة) ومهو فكانت القوة المستعملة بأكملها تبلغ ٣١٠ حصاناً .

وعندما تقابلت ناحيتا النفق أزيلت الالات الموضوعة فى الجنوب .

وقداستعمل للتهوية مهو ذو ضغط عال سلزر رقم ٦٠ (Sulzer No.60) وكان يدار كما وضح قبلا . وخواص هذه المهويات هى : —

كمية الهواء ٧ر٠ م٣ فى الثانية على حساب ٢٣٠٠ دورة فى الدقيقة وتحت ضغط ٤٣٠ ملليمتراً من الماء وتستهلك ٣ر٧ حصاناً لخط ماسورة بطول ٧٠٠ مترا وقطر ٣٠٠ ملليمتراً .

أ ٦ ٧ر٠ م٣ فى الثانية على حساب ٢١٠٠ دورة فى الدقيقة تحت ضغط ٣٥٠ ملليمتراً من الماء مستهلكة ٢ر٦ حصاناً لخط ماسورة بطول ٦٠٠ مترا وبنفس القطر السالف .

وبتغيير عدد الدورات يمكن زيادة كمية الهواء أو إنقاصها .

ولما اتصلت ناحيتنا النفق كان تيار الهواء شديداً جداً فلم يعد هناك ضرورة للتهوية الصناعية فأبطلت المهويات وأزيلت المواسير .

وكان قطر ماسورة خط الهواء المضغوط ١٢٠ ملليمترا .

برنامج العمل

لا يمكن حفر نفق بقطاعه الكامل دفعة واحدة إذا ما بلغ ذلك القطاع نحو ٦٠ متراً مربعاً وذلك مراعاة للاقتصاد . بل يجب أن يحفر على عدة أجزاء . ويمكن اختيار هذه الأجزاء بطرق مختلفة وقد اختبرت عدة طرق ونفذت فى حفر النفق المختلفة وأخصها نفق السكك الحديدية فى غير هذه البلاد . فأستغنى من هذه الطرق عن أكثرها ولكن اثنتين ما زالتا تستعملان وهما الطريقة الانجليزية النمساوية والطريقة البلجيكية .

عند عمل نفق بطول لا بأس به يحفر منه أولا رأس بمقاسات نحو ٢٫٥ م × ٢٫٥ م أو ٣م × ٢ م (أى نفق ذو قطاع صغير) واختير الارتفاع ٢ متر أو ٢٫٥ متر ليتمكن العامل من أن يقف على الأرض ليثقب الثقوب من غير احتياج إلى تصليبه . ويمكن بعد ذلك حفر أجزاء القطاع الكامل من نواحى هذا الرأس المختلفة .

ومن خواص الطريقة البلجيكية أن يحفر العقد أولا ثم يبطن قبل حفر الجزء الأسفل من القطاع الكامل وتبنى الحوائط الجانبية فى النهاية بطريقة التدعيم (Underpinning) .

ويبين شكل (٥) الطريقة الانجليزية النمساوية ومن خواصها أن يحفر القطاع الكامل أولا على عدة درجات ثم يحصل التبطين مبتدئين بالحوائط الجانبية ويبنى العقد فى النهاية . ويحفر الرأس فى أسفل القطاع (ويسمى الرأس السفلى) .

ولقد كتب الكثيرون عن هاتين الطريقتين ونوقشت أفضليتهما . ولم يكن المهندس الألمانى أو النمساوى من عشرين سنة ليبنى النفق على الطريقة البلجيكية كما لم يبن المهندس الفرنسى أو البلجيكى على الطريقة الأخرى . وللواقع نقول أن لكل من هاتين الطريقتين محاسن ومساوىء ويمكن استعمال إحداهما أو إغفالها حسب الظروف. ولاختيار مثلى الطريقتين يجب أن يكون الانسان على علم تام بميكانيكة أنواع الأرض المختلفة .

ومن محاسن الطريقة الانجليزية النمساوية أنها أرخص فى الأراضى الصخرية . إذ أن عملية التدعيم دقيقة وتسبب دائماً كثرة فى النفقات . والبناء فى النفق المحفور بأكمله أرخص إذ يوجد متسع أكبر للعمال فيسهل بذلك تنظيمهم وتتبع عملية التبطين عملية الحفر التى تسبقها . وتفضل هذه الطريقة كذلك لسهولة تنظيم حركة النقل فيها إذ أن تنظيم النقل من أهم العوامل التى تسبب اقتصادا فى النفق الطويلة .

وإنها لقاعدة أنه لتلافى الزحزحة التى تحدث ضغوطاً على التخاشيب والبطانة يبدأ ببناء البطانة فى الأماكن المنتظر حصول الزحزحة فيها قبلا ، ففى النفق العميقة حيث يبلغ العمق عدة مئات الأمتار تكون الضغوط الأفقية أكبر وتحصل أولا حتى فى الصخر . ويحسن فى مثل هذه النفق أن تبنى الحوائط الجانبية قبلا . ومعنى ذلك أن الطريقة الانجليزية النمساوية أفضل لمثل هذه النفق .

أما إذا وقع النفق فى أرض لينة مثل الزلط والأرض العادية والتراب

وما شا كلها وكان على عمق بسيط فانه إذا ترك النفق بغير تبطين لمدة طويلة تنشأ على سطحه ضغوطاً عظيمة وإذا اعتبر أى هبوط للأرض فوق النفق خطراً وخصوصاً إذا علا النفق مبان أو أراض ثمينة فمن الأمان استعمال الطريقة البلجيكية . وإذا حفر القطاع الكلى دفعة واحدة فيجب عمل تصليبات قوية وهذه مما تزيد فى النفقات . وبما أن الخشب يقل طوله عند ضغطه فلا مفر من هبوط سطح النفق وعلى ذلك فالطريقة البلجيكية أكثر صلاحية .

ولسبب ما استعمل المقاول الطريقتين فى نفق الأحايوة . ولكن مما ذكرته سالفاً عن محاسن الطريقتين يظهر أن الطريقة المثلى فى حالة نفق الأحايوة كانت الطريقة الانجليزية النمساوية مع ملاحظة عمل تقدير للنيل .

وتبين مناسيب النيل أثناء السنة عند الموقع ومناسيب النفق أن أرضية النفق فى زمن الفيضان أوطى من منسوب النهر وبما أن الصخر فى الطرف الشمالى كان مسامياً ولم يكن الطرف الجنوبى فى ذلك الوقت محمى فانه احتمل أن يعلا النفق إلى سطح النهر فى زمن الفيضان . وعلى ذلك فضل المقاول أن يستعمل الطريقة الانجليزية النمساوية فى معظم النفق ولكن فى نهايتيه حفر رأس علوى فى أعلا منسوب المياه لطول نحو ٢٠٠ متراً من النهايتين . وقد بدىء بالحفر على الطريقة الانجليزية النمساوية على مسافة نحو ٢٠٠ متراً من نهايتى النفق وترك الجزءان الآخران البالغان ٢٠٠ متراً من كل نهاية بغير حفر فى زمن التحاريق . وفى فيضان سنة ١٩٣١ حفر هذان الجزءان تبعاً للطريقة البلجيكية فحفر العقد وبطن

أثناء الفيضان وحفر الجزء الأسفل ثم بطن فى نهاية الفيضان . ولقد مكن البرنامج المقاول من العمل باستمرار ولم يسبب الفيضان تعطيل له أنظر شكل (٦) وشكل (٧) وقد فضل المقاول اختيار النهايتين كى يوفر تصليبة طويلة من أجل النقل . وقد بدأ عمل الرأسين كالآتى : —

الطرف الشمالى فى ٢٧ اكتوبر سنة ١٩٣٠ (الفتحة العليا)

وفى ١٨ نوفمبر سنة ١٩٣٠ (الفتحة السفلى)

وقد بدأ المقاول بالفتحة العليـا ولم يكن الحفر قد انتهى عند ذلك الوقت .

أما فى الطرف الجنوبى فقد أثبت الحفر أن نهاية النفق لا يمكن تحديدها كما جاء فى المشروع فسرعان ما تبين أن الصخر هناك كان مغطى بالحجارة وأن الجزء الأسفل من قطاع النفق كان يقع وحده فى الصخر . وبعد إزالة الحجارة أنقص طول النفق ٦٠ متراً حيث أصبح طوله الآن ٩٤٠ مترا فقط (٩٣٩٫٢٦٩ م) .

وابتدئت الفتحة السفلى على بعد ٣٠ مترا من الموقع النهائى ولما لم يكن هناك اضطرار لنهو الحفر أولا فأن الفتحة العليا ابتدأ فيها بالحفر أفقيا عند المكان الذى تقع فيه نهاية النفق وكان ذلك فى يوم ١٧ نوفمبر سنة ١٩٣٠ .

وتقابلت الفتحتان السفليان فى ٨ مارس سنة ١٩٣١ على بعد ٥٧٦ مترا من النهاية الشمالية . وقد أقيم بهذه المناسبة احتفال شرفه رئيس الوزراء صاحب الدولة اسماعيل صدقى باشا وأصحاب المعالى وزير الاشغال ابراهيم باشا فهمى كريم ووزير الزراعة حافظ حسن باشا ووزير المواصلات توفيق

دوس باشا واصحاب السعادة وكيل وزارة الاشغال وكبار موظفى تلك الوزارة وبعض المدعوين .

ولما تمت الفتحان بدأ العمل فى الحفر والتبطين بكل سرعة .

فعملت الحوائط الجانبية من الخرسانة بنسبة ٥ ر.م٣ رمل الى ١٧٥ كجم اسمنت الى ٠٫٧٥ م ٣ من الحجارة . وبنى العقد من الكتل الخرسانية . بنسبة ٢٠٠ كجم اسمنت للمتر المكعب كما نص بذلك واستعيض عن الحجارة فى الخرسانة بخمسين فى المائة من حجمها من الزلط والخمسين الأخرى من الحجارة . ونص أن تترك الكتل ستة أسابيع قبل استعمالها (سبعة أيام مغطاة بخيش مبلل وتحفظ المدة الباقية فى مكان مظلل) على أن تقاوم قوة مقدارها ٢٠٠ كجم على السنتيمتر المربع بعد ثلاثة أشهر . وكانت هذه الكتل على مقاسين ٣٧ × ١٧ × ١٧سم و٢٧ × ١٧ × ١٧ سم .

وقد غطيت أرضية النفق حسب القطاع ب بطبقة من الخرسانة سمكها ٢٠ سم . وقد لزم عمل عقد مقلوب من كيلو ٠٫٦١٢ من الواجهة الشمالية الى كيلو ٠٫٨٢٧ أى لمسافة ٢١٥ مترا وذلك لأن ذلك الجزء كان يحتوى على طبقة من الطفل (Marl) قابلة للانتفاخ (أى زيادة الحجم) إذا لمستها المياه . (وشكل ٨) يبين ذلك . أما الحوائط الجانبية فلم يكن منتظرا أن يتنابها ضغوط تكفى لزحزحتها . ولم يتوقع حصول ضغوط على العقد بالمرة . وعلى ذلك فقداستعمل القطاع ب ولكن وجد من الروية أن يعمل عقد مقلوب بسمك ٥٠ سم إذ الغرض الوحيد من الفرشة الأفقية حماية الصخر من المياه وهذه لا تتحمل القوى الرأسية التى يحدثها انتفاخ القاع

اذا ما لا مسته المياه .

ويصح أن أذكر أنه قبل أن تقرر عمل العقد المقلوب رصدت مناسيب عدة نقط قبل الفيضان وبعده فلوحظ علوا فيها بلغ ٢٧ ملليمترا عند نقطة تبعد ٨٠٠ مترا من الواجهة الشمالية . وقد بنى العقد من كتل خرسانية كالمقد العلوى .

ومن المهم جدا فى أعمال النفق أن تعمل البطانة أقرب شىء للصخر ولا يسمح بترك أى فراغات مهما صغرت . وعلى ذلك فقد عملت حقن اسمنت لبانى فى النفق بأكمله لملء كل الفراغات التى يكون قد تركها البناؤون أو التى تنتج عن هبوط فى العقد . من أجل ذلك عملت ثقوب فى البطانة وجهزت بقطع مواسير قطرها بوصة ونصف ثبتت بمونة الاسمنت وبرزت عدة سنتيمترات عن سطح البطانة . وكان لهذه المواسير قلووزات لتثبيت خرطوم مدفع الاسمنت . ولم تسمح الحوائط الجانبية بأخذ شىء من المونة . واستعمل نحو ٢٨٠ لترا من المواد للمتر الطولى من العقد .

ويصح أن أذكر أن خرسانة الحوائط الجانبية عملت باستمرار . ولما كان يعترض ذلك عارض كانت تترك الحوائط على درجات لربط الجزء التالى فيها . أما العقد فكان يبنى على حلقات بطول ٨ أمتار وذلك للسماح لهبوطها عندما تزال العبوات . وعملت تصليبات العقد فى الطريقة البلجيكية على التعاقب (Aeternatively) بأطوال ٤ أمتار . وسلحت أكتاف العقد فى هذه الاجزاء بثمانية أسياخ قطر كل منها ١٦ ملليمترا .

وقد كان النقل من أهم الأعمال فى النفق حيث ينقل ناتج الحفر إلى

خارجه ومواد البطانة إلى داخله . وقد بنى المقاول سكة حديدية من قضبان وزنها ١٦ كجم للمتر واتساعها ٠٫٧٥ مترا موضوعة على فلنكات خشبية إذ أثبت هذا النوع والاتساع صلاحيته للنفق الطويلة فى أوروبا . فالأضيق منه أقل جدوى (less efficieut) والأوسع صابا وثقيلا . وقد استعملت عربات خشبية واطئة من ذات الصندوق الثابت تسع مترا مكعباً لنقل مواد الحفر من الرأس. واستعمل فى حفر القطاع لأ كمله وتبطينه(Kippers) نقالات تسع ٢٫٥ متراً مكعباً . وكانت تجر العربات داخل النفق باليد وكذلك فى خارجها فى الناحية الجنوبية . أما فى الناحية الشمالية فكانت تنقل مواد الحفر من الواجهة الى المكان الخاص بها بواسطة قطارات بخارية ولم يسمح لهذه بدخول النفق لعدم اتلاف الهواء بداخله . وأذكر أن جرارات الهواء المضغوط التى تخزن الهواء لمائتين أجواء تستعمل عادة فى النفق الطويلة ولكنها كثيرة التكاليف لنفق قصير مثل نفق الاحايوه .

وبعد أن تقابل الرأسان نقلت مواد الحفر إلى الشمال ما عدا نحو ١٨٠ متراً من العقد بنيت على الطريقة البلجيكية فى الجهة الجنوبية أثناء فيضان سنة ١٩٣١ .

وقد عملت تحويلة داخل الرأس لتسيير العربات وكانت تنقل هذه التحويلة متتبعة تقدم الرأس . ويجب تنظيم حركة النقل جيداً داخل النفق فيجب أن تسير القطر تبعاً لجدول مواقيت وأن يوافق موقع العربات فى القطار مكانها داخل النفق (فمثلا تترك العربات التى تحمل مواد البطانة حيث تلزم من غير أن تعطل طريق الأخرى)

وبعد أن تم بناء الحوائط الجانبية والعقد دهنت بالضغط (Gunite) حيث ضغط سائل من مونة الأسمنت بنسبة ١٠٠٠ لتر رمل إلى ٥٠٠ كجم أسمنت على البطانة من مدفع رشاش . وبالتجربة وجد أن ضغط ٣—٥ر٣ أجواء هى أحسنها .

وكانت الفرشة السفلى آخر ما عمل فقد بنيت على ثلاثة أجزاء بدىء منها بالجزءين الخارجين عن السكة ثم بالجزء الأوسط مبتدئين به من الواجهة الجنوبية وكانت ترفع السكة أثناء ذلك تدريجياً . ثم غطيت الفرشة بطبقة من الأسمنت سمكها ٣ سنتيمترات .

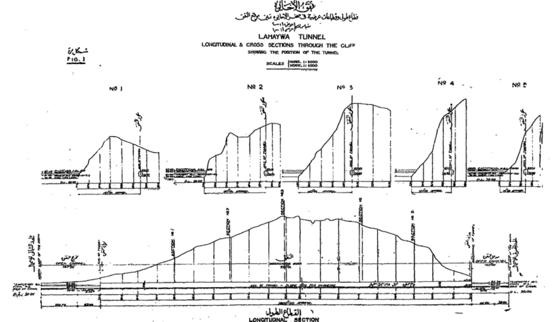
وقد احتفل مبدئياً بالعمل فى ١٥ يونيه سنة ١٩٣٢ واحتفل به نهائياً فى ١٤ يونيه سنة ١٩٣٣ واستعمل النفق فى فيضان سنة ١٩٣٢

ويبين الشكل (٩) والمناظر التى عرضت فى المحاضرة العمل وتفاصيل أخرى له . ويصح لى أن أذكر أنه لبعد البلاد المجاورة بنى المقاول فى الموقع مستشفى صغيراً عين له طبيباً مقيما . وقد حصلت خمس حوادث خطيرة تسبب عن أحدها وفاة وهذه حصلت خارج النفق عند الواجهة الشمالية حيث توفى عامل تابع لمقاول من باطنه على أثر وقوع كتلة من الصخر عليه عند فم النفق .

وقد كان الموظفون الرئيسيون المشرفون من الأوروبيين أما العمال فكانوا مصريين . وكان أكبر عدد من العمال يشتغلون فى النفق فى اليوم الواحد ٦٢٠ رجلا اشتغلوا على ثلاثة دفعـات الأولى عددها ٢٥٠ رجلا والثانية مثلها والثالثة (وهى دفعة الليل من الساعة ١٢ — ٤) ١٢٠ رجلا

ولم يعمل سوى الحفر فى أثناء الليل .

وقد كان من الضرورى فى بادىء الأمر أن يتدرب العمال المصريون على هذا النوع من العمل . وقد برهنوا فيما بعد على جدارتهم ونشاطهم . وقد كلفنى المستر لينهارد وهو الذى قام بتنفيذ النفق بالنيابة عن شركة رثبلتز ولينهارد أن أعبر فى محاضرتى عن عظيم تقديره وإعجابه بالأيدى المصرية التى اشتركت فى بناء أول نفق مصرى .


LAHAYWA TUNNEL
LONGITUDINAL & CROSS SECTIONS THROUGH THE CLIFF
SHOWING THE POSITION OF THE TUNNEL
SCALES HORIZ. 1:2000
VERTIC. 1:1000
FIG. 1
Nº 1
Nº 2
Nº 3
Nº 4
Nº 5
OPEN CHANNEL
UNDERGROUND WORK
LONGITUDINAL SECTION

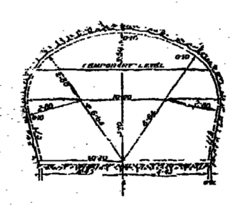
LAHAYWA TUNNEL

PROPOSED TYPE SECTIONS

SCALE 1 : 100

قطاع أ

TYPE A



قطاع ب

TYPE B

قطاع حـ ١

TYPE C

قطاع حـ ٢

TYPE C₂

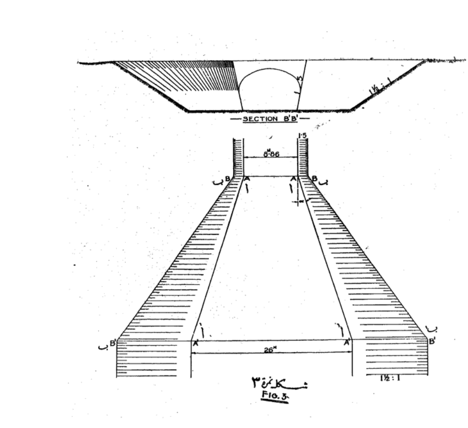
شكل نمرة ٢

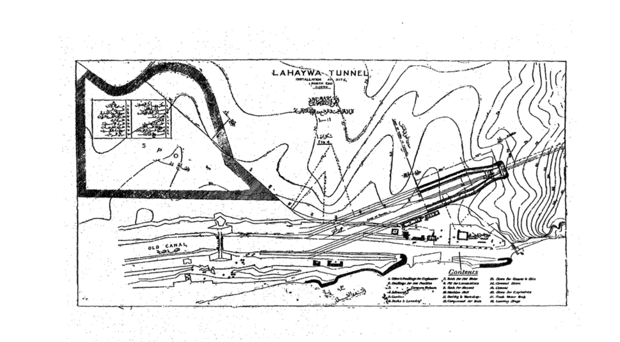
FIG. 2

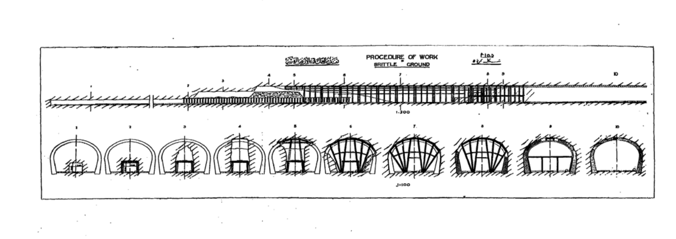
نفق الأحيائي
القطاعات المقترحة

مقياس الرسم ١ : ١٠٠

DESIGNED BY:
PROF. C. ANDREAE


SECTION B'B'
1½:1
1·5
8·86
B
A
A
B
ب
ا
ا
ب
B'
A'
A'
B'
26
1½:1
شكل نمرة ٣
FIG. 3.


LAHAYWA TUNNEL
INSTALLATION AT SITE
NORTH END
FIG. 4
S P O
OLD CANAL
Contents
7. Tank for Hot Water
8. Pit for Locomotives
10. Machine Hall
12. Compressed Air Tank
14. Cement Store
15. Cement
16. Store for Explosives
17. Fresh Water Tank
18. Landing Stage
4. Infirmary
5. Canteen
6. Baths & Laundry


PROCEDURE OF WORK
BRITTLE GROUND
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
1:200
1:100

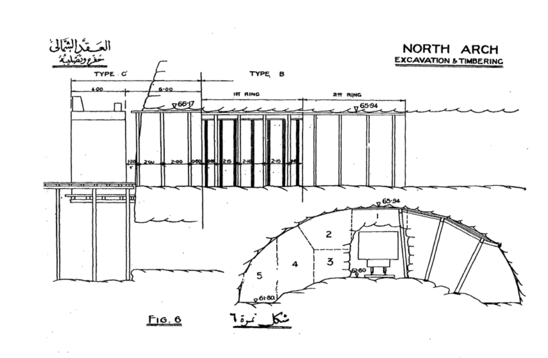
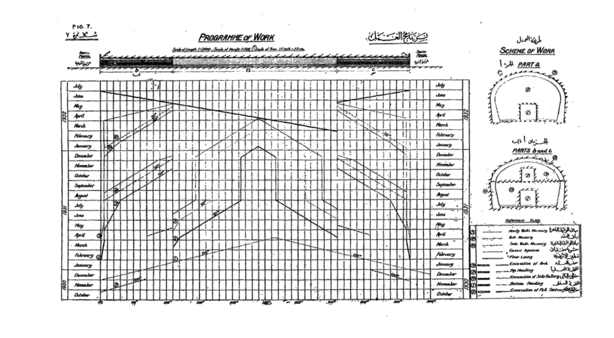
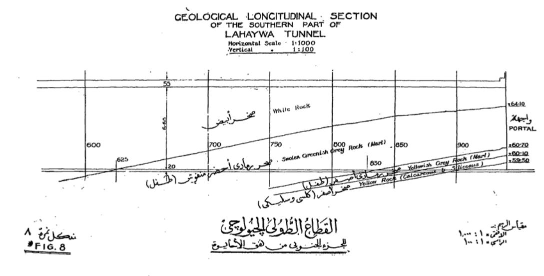
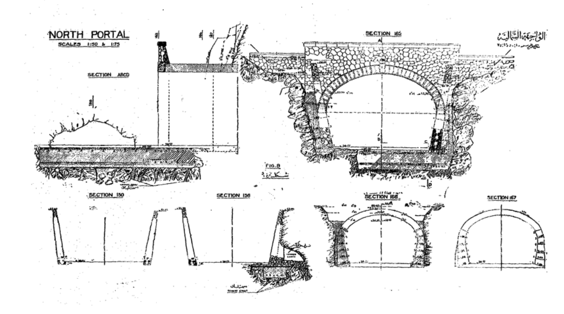


FIG. 6 شكل نمرة ٦


FIG. 7.
PROGRAMME OF WORK
SCHEME OF WORK
PART a
PARTS b and c
July
June
May
April
March
February
January
December
November
October
September
August
1932
1931
1930
Reference Table
Arch Masonry
Side Walls Masonry
Floor Lining
Excavation of Arch
Top Heading
Excavation of Side Gallery
Bottom Heading
Excavation of Full Section


GEOLOGICAL LONGITUDINAL SECTION
OF THE SOUTHERN PART OF
LAHAYWA TUNNEL
Horizontal Scale 1:1000
Vertical " 1:100
55
6.60
600
625
20
700
750
800
830
850
900
صخر أبيض
White Rock
Swolen Greenish Grey Rock (Marl)
Yellowish Grey Rock (Marl)
Yellow Rock (Calcareous & Siliceous)
±64.10
واجهة
PORTAL
±60.70
±60.10
±59.50
القطاع الطولي الجيولوجي
للجزء الجنوبي من نفق الأحايوة
شكل نمرة ٨
#FIG. 8
مقياس الرسم:
الأفقي = ١ : ١٠٠٠
الرأسي = ١ : ١٠٠


NORTH PORTAL
SCALES 1:50 & 1:75
SECTION ABCD
SECTION 162
الواجهة الشمالية
FIG. 8
SECTION 150
SECTION 156
SECTION 166
SECTION 167

(night shift) only excavation was done, no lining. The Egyptian workmen had, of course, to be trained first, but afterwards the contractor found them very assiduous and useful and when Mr. Lienhard, the partner of the contractors firm Rothpletz and Lienhard who was specially in charge of this work heard that I should deliver a paper to this Society on the Lahaywa tunnel he asked me to mention that and to express his appreciation for the workmanship which built the first tunnel in Egypt.

---

of up to 200 atm are used. But they are too expensive for such a short tunnel as the Lahayws tunnel.

After the meeting of the headings all excavation spoil was brought to the North with the exception of that of about 180 m of arch built according to the Belgian method at the South and during the flood of 1931.

Inside the heading a loop must be provided to marshal the wagons. This loop must always be removed and follow the progress of the heading The transport must be very well organised. The trains must run according to a time table and the position of the wagons in the train must correspond to the place which they are for inside the tunnel (for instance, those with materials for the lining must be left there where they are wanted without handicapping the others to go to their places).

After the side walls and arch were built, they got a coating of gunite. A liquid mix of 1000 l. sand and 500 Kg cement was blown by a cement gun under pressure against the lining. Experience shows that a pressure of 3 - 3.5 atm is the best one.

The last work done was the bottom slab. It was made in three parts. First both parts on both sides of the track were laid. Then, beginning from the South portal, the centre part was laid whilst the track was gradually removed. The slab got a cement rendering of 3 cms.

On the 15 th of June 1932 the provisional reception of the work took place and on the 14th of June 1933 the final. The tunnel was taken on operation during the flood 1932.

Fig. 9 and other pictures shown in the lecture give views of the work and some more details.

I may mention that the neighbouring towns being far away, the contractor built on the site a small hospital and engaged a resident doctor. Five grave accidents happened. One of them was mortal but happened outside the tunnel, at the North portal. A workman of a subcontractor was crushed to death by a block of rock falling down from above the mouth of the tunnel.

The leading and supervising staff was European but the whole workmanship was Egyptian. The maximum number of workmen working inside the tunnel in a day was 620 men. They worked in three shifts as follows: 250 men first shift, 250 men second shift, 120 men third shift (night shift from 22 to 6). During the third

advisable, for the horizontal slab, the purpose of which can only be to protect the rock against water, could not have stood the uplifting forces provoked by the swell of the ground if water had touched it. I may mention that before the invert arch was decided, the level of several points was checked before and after the flood and an uplift was noticed which reached 27 mms at point 800 ms from the north portal. This invert arch was, like the top arch, built in concrete blocks.

It is very important that in a tunnel the lining is done close to the rock. No hollow room, even small ones should not be left. Therefore, injections of liquid mortar were carried out on the whole length of the tunnel for filling all holes possibly left by the masons or due to settling of the arch. For that purpose holes were drilled through the lining and equipped with a piece of $1\frac{1}{2}$ inch pipe which was fixed with cement mortar and which came few cms. out of the lining. These pipes had a screw thread for fixing the hose of the cement gun. Into the side walls nearly nothing could be injected. The arch took about 280 l. solid stuff per m/run.

I may mention that the side wall concrete was made continiously. If the work was interrupted, steps were left for the next part to bind. But the arch was built in rings of 5 ms. length. It is necessary for allowing it to settle, when the centres are lowered. The underpinning of the arch where the Belgian method was used, was done alternativaly in length of 4 ms. The abutments of the arch in these parts was reinforced by 6 bars of 16 mms diametre.

A very important part of the organisation of the tunnel work is the transport. Spoil must be carried off the tunnel and materials for the lining must be transported into the tunnel. The contractor laid a track of 0.75 m gauge of rails 16 of kg/m and on wooden sleepers. This gauge and kind of track has proved suitable in many long tunnels in Europe. Smaller gauges are not efficient enough and wider ones too stiff and heavy. For the heading low wooden wagons for I m3 spoil with unmovable box were used, for the excavation to full section and lining Kippers for 2.5 m3 were used. Inside the tunnel the wagons were pushed by hand, at the South the trains were also pushed by hand outside. At the North they were taken from the portal to the spoil dumps by steam locomotives. The latter were not allowed to enter the tunnel for not spoiling the air. I may mention that for the construction of long tunnels compressed air locomotives storing air

The contractor began with the top heading, the cutting being not yet finished at that time.

At the South end the digging of the cutting proved, that the portal could not be located as provided by the project. The rock was covered there by rubble and it was soon found, that only the Lower part of the tunnel section was in rock. After the rubble was removed the tunnel was shortened by 60 ms. Its length now is 940 ms. (939.249 only). The Bottom heading was started 30 ms. from the final plan of the portal for not being obliged to finish the cutting first and the top heading was begun by an adid at the place where the portal was finally designed. This took place on the 17th of November 1930.

Both bottom headings met on March 8th, 1931, 576 ms. from the North portal. This event was celebrated by a ceremony which was honoured by the Prime Minister, H.E. Ismail Sedky Pasha, the Minister of Public Works. H,E. Ibrahim Pasha Fahmy Karim, the Minister of Agriculture, H.E. Hafez Hassan Pasha, the Minister of Communications, H.E. Tewfik Doss Pasha, by their Excellencies the Undersecretary of State for the Ministry of Public Works, the high officials of that Ministry and some guests.

Theheadings once finished, the work of excavation and lining went on rapidly.

The side walls were made of concrete 0.50 m3 sand to 175 kg. cement to 0.75 m3 broken stone. The arch was built in masonry of concrete blocks. For these the quantity of 200 kg. cement per m3 was prescribed. The broken stone for the concrete was replaced by 50 % gravel of the desert and 50 % broken stone. The blocks were to be left 6 weeks before use (7 days covered with wet sacking, then stored in a shady place). After 3 months their resistance had o be 200 kg/cm^2 There were two dimensions: 37 × 17 × 17 cms. and 27 X 17 X 17 cms.

The floor was covered by a concrete slab according to type B of 0.20 cm. thickness. From Km 0.612 (from the North portal) to 0.827, on a length of 215 ms. an invert arch was found necessary. A marl layer was encountered which proved to swell - to increase its volume - when in touch with water. Fig 8 shows it. For the side walls, no pressure considerable enough for moving them was expected. For the arch none at all. Therefore, type B was carried on through, but an invert arch of 0.50 ms. thickness was found

begin first, they may arise even in rock. In such tunnels it is better to build the side walls first. It means, for such tunnels that the English-Austrian method is the better one.

But if the tunnel lies in soft ground, gravel, earth, clay etc. and in a small depth, there will be soon a great roof pressure if the roof is left long time without lining. Especially if a sinking of the ground above the tunnel is considered dangerous, if the tunnel crosses buildings or valuable ground, the Belgian method is the safer one. In case the full excavation is done first, the high timbering must be very strong and will be expensive.* As timber is compressible, the sinking of the roof can hardly be avoided. The Belgian method is, therefore, more advantageous.

For a special reason the contractor of the Lahaywa tunnel applied both methods. According to what I said before concerning the advantages of both methods it appeared that the Lahaywa tunnel was a typical case to which the English-Austrian method could be applied. But there is the Nile to be considered.

The levels of the Nile during the year at the site and the level of the tunnel show that during the flood the floor of the tunnel is below the level of the River and the rock being pervious at the North end and the South end at that time not yet protected, the tunnel was supossed to be filled up to Nile level during the flood. The contractor has, therefore, preferred the English-Austrian method for the main part of the tunnel, but at both ends a second heading, a top heading was driven just above the high water level at a length of about 200 ms. from the portals. The excavation to full section according to the English-Austrian method was begun at that distance (200 ms) from the portals only and the excavation of the 200 ms. between portals and these points was left alone during the season of low Nile. During the flood of 1931 these two lengths of 200 ms. each were carried out according to the Belgian method. The arch was excavated and lined during the flood, the lower part was excavated and lined after the flood was over. This programme enabled the contractor to work continuously and without being interrupted by the flood fig 6 & 7. The contractor chose both ends for this, for saving a long scaffolding for the transport

The **headings** were started at the North end; October 27th 1930 (top heading)

on November 18th 1930 the bottom heading was started also.

tunnels, most of them have been abandoned on the long run. But two are at present still used : the English - Austrian method and the Belgian method.

If a tunnel of considerable length is built, a heading (tunnel of a small section) will be driven first. Its section will be about 2.5 × 2.5 ms. or 3 × 2 ms. The height of 2 or 2.5 ms. is given by the possibility to drill or bore holes by a man staying on the floor without any scaffolding. From that heading the excavation of the other parts of the full section can be attacked at different points.

The characteristics of the Belgian method is that from the heading, the arch is excavated first and lined before the excavation of the lower part of the full section is excavated. The side walls are the last part built by underpinning.

Fig 5 shows the English - Austritan method. Its characteristic is, that first the whole excavation is done in several steps. After the whole excavation of the full section is done, the lining is brought in, beginning with the side walls. The arch is the last part built. The heading is always at the bottom (bottom heading).

Much has been written for discussing which one of these two methods is preferrable. Twenty years age, a German or Austrian engineer would never had built a tunnel according to the Belgian method, and a French or Belgian engineer never did it according to the other method. As a matter of fact both methods have their own advantages and drawbacks and either the one or the other may be adopted or neglected according to circumstances. For choosing the right method one should be thoroughly acquainted with the mechanics of the various kinds of ground.

The advantages of the English-Austrian method is that in a rocky ground the work is cheaper. Underpinning is always an expensive and rather delicate work. The masonry done in a fully execavated section of tunnel is cheaper. The workmen dispose of more clear room. The organisation of work is simpler. In front there is excavation only, at the rear follows the lining. For the organisation of transport this method is also preferrable. The organisation of transport is one of the most important factors for a long tunnel economically.

It is also a rule, that for avoiding movements which provoke pressures on timbering and lining, the lining must be started where the movements are expected to begin first. In a very deep tunnel, say several hundred ms. deep, the horizontal pressures are greater and

MACHINERY: On the North the following machines were installed:

2 Diesel motors of 80 HP each = 160 HP
2 „ „ „ 50 HP „ = 100 HP

260 HP

Each of these motors drove a rotative compressor. The 80 HP Motors drove each a compressor for a suction of 8 m3/min.; the 50 HP motors each a compressor for a suction of 4.5 m3/min. The compressors of 8 m3 took 65 HP each, those of 4.5 m3 38 HP each. The remaining power was utilised for the pumps and for driving a generator for the light. Until headings met, one of the 50 HP Diesel drove a ventilator.

On the south, a Diesel of 50 HP was placed in a timber hut. It drove a compressor of the smaller (4.5 m3/min.) and a ventilator. The whole power installed was 310 HP.

When the two headings had met, the small installation of the south was removed.

For the **aeration.** a high pressure ventilator Sulzer No. 60 was placed and driven as mentioned before. The characteristics of these ventilators are:—

Air volume: 0.7 m3/sec at 2300 Rev/min, and a pressure of 430 mm water, taking 7.3 HP for a pipe line of 700 m. (Diam. 300 mm) or, 0.7 m3/sec at 2100 Rev./min. a pressure of 350. mm water, taking 6.2 HP for a pipe line of 600 m. and same diameter as before.

By changing the number of revolutions, the air volume can be increased or diminished.

When the headings from both sides had met, the natural draught was so strong, that no artificial ventilation was required. The ventilators were stopped and the pipes removed.

The pipe line for the compressed air had a diameter of 120 mm.

PROGRAMME OF WORK

A tunnel with a section of about 60 m2 cannot be driven with the full section at once, at least from an economical point of view. It must be driven in several sections. These sections can be chosen in different ways, and different systems or methods have been tried and adopted for driving the numerous tunnels, especially railway tunnels existing in other countries. Of all methods tried on those

by Messrs. Thos. Cook & Son. The results obtained with Celignite were satisfactory. I may mention that, for driving the headings, an average of 2.54 kg/m3 was necessary and for the excavation to full section 0.48 kg/m3.

The mining requires machinery. The boreholes are drilled by means of pneumatic hammers beating the boring bars at a great velocity and drilling them. Those hammers work at a pressure of about 4-5 atm and take about 1.5m3/min. of air of natural pressure. For the supply of compressed air compressors are indispensable.

For underground work an artificial aeration is necessary if there is no natural draught and there is none so long as the headings are not through. The required quantity of air may be calculated as follows: —

350 m3 per man in 24 hours - 0.004 m^3/sec/man.

This figure must be multiplied by the maximum number of men engaged at the same time inside the tunnel. For 100 men it gives 0.4 m 3/sec for men. But to the figure so obtained a certain amount must be added for the explosion of the mines : 300 m3 per kg of explosive stuff. For about 100 kg explosive per day another 0.35 m3/sec. This gives a total amount of about 0.75 m3/sec.

The figures are rather low, because the contractor preferred to drive the headings from both sides quickly as it will be explained later on and to work with full strength on the excavation of the full section and the lining after the meeting of the headings.

Then, the site had to be provided with water for drinking and all other purposes like masonry, concrete, locomotives, cooling of machines, washing, cleaning. etc. The place had also to be supplied with electric light, not for the tunnel itself, but for the housings and the site outside the tunnel. Inside the tunnel, every workman has to carry his own lamp (acetylene lamp).

All this required important machinery for which sheds and buildings had to be erected.

Girga and Menshah, the nearest places, being on the opposite bank of the Nile and too far away and as there were no dwellings in the neighbourhood, it was necessary to have, besides these buildings, stores and dwellings for engineers, skilled workmen, clerks, etc.

Fig. 4 shows the buildings erected by the contractor on the site at the North end of the tunnel.

Resident Engineer on the site was Mr. Long. In December 1931 he left for England and was replaced by Farid Seif Eff. These gentlemen were depending upon the Director of Projects and Resident Engineer of the Nag Hamadi Barrage. At the beginning of the work it was Naguib bey Ibrahim, later Mr. Ellison. H. E. the Minister of Public Works (H. E. Osman Moharram Pasha) asked me to assist them as consulting engineer, and it pleases me to mention here the very agreeable intercourse I found with these gentlemen and the real collaboration which crowned one's efforts with success. I thank also their chiefs, The Director General of Reservoir, Abdel Maguid Bey Omar and specially H. E. the Undersecretary of State Moh. Bey Osman, whose name will remain connected with the construction of the first Egyptian tunnel.

A tunnel requires many installations. The driving of a tunnel through rocky ground is done by mining work. Boreholes are drilled into the rock, diameter about 30 mm, length variable according to rock. Hard rock requires a greater of rather short holes, soft rock a smaller number of rather long holes. The holes are loaded with an explosive stuff and ignited by special matches. I may mention that the explosive used in this case was Gelignite, a gelatinised safety explosive with about 62 % explosive stuff. It is made in England. Gunpowder cannot be used in a tunnel. Besides being weak, it can hardly be put in boreholes directed upwards. Only gelatinised stuff in the form of cartridges the diameter of which is few mms. smaller than that of the boreholes will answer the purpose perfectly well. Gunpowder is also too dangerous. It may be brought to explosion by a spark from a tunnel lamp or even from a cigarette or so.

Only such explosives which become active only when fired with detonators can be used. The first stuff of this kind was the dynamite invented by Nobel, Nitroglycerine with a rather small percentage of dead stuff. It is very strong and always employed for the headings of long tunnels in hard rock. Its drawback is that the point of freezing is at + 8°C. Once frozen it becomes very sensible to shock and, therefore, dangerous. To avoid such a danger, other explosives were invented with little or no nitroglycerine (trotyle, ammonia, salpeter, etc.), which have a much lower points of freezing and are not sensible to shock. They are also less strong, but far stranger than gun powder. Gelignite was chosen because it is the only stuff obtainable in Egypt, its importation being monopolised

wall is 1 : 5 inside the tunnel, that of the canal banks $1\frac{1}{2}$: 1. In our water power schemes in Europe this connection is mainly done on a rather simple way shown in fig. 3.

A - A' and B - B' are connected there by straight lines and the slope changed continuously from the beginning to the end of the transition. The surface, so originated, is a curved one (hyperbolic paraboloid). It is easy to construct. The strings of the masons stretched from one lath to the other must be horizontal, like the line. Important is the length of the transition (angle α). It is rather a delicate problem especially for the outlet. The influence on the head of water is much greater there. The recuperation of head is much more sensible for the shape of the transition than the loss at the inlet. For accuracy's sake experiments were carried out in the hydraulic laboratory of the Royal School of Engineering, Prof. Addison tried there different shapes of transitions and found the best shape to be on principle a shape very similar to that described before.

EXECUTION : The work was put on adjudication in summer 1929. In January 1930 the work was given to the Swiss firm Rothpletz and Lienhard. which is well known in Europe for its great experience in tunnelling, and which constructed the tunnel in collaboration with Dr. Stross of Alexandria. This tender was chosen because it proposed to build the arch in masonry of concrete blocks which was given the preference by the Ministry to concrete proposed by others. The sum of the tender was.

LE 171590 for the tunnel.

LE 19097 for the open air work.

LE 190687

Tunnel prices are always variable. It was mentioned in Art. 20 of the specifications that quantities were approximate only. The length of types is specially variable. It is what happened here. For the northern part of the tunnel the rock was found better, for the southern part softer than assumed.

The final account was.

LE 188102,224 mms for the tunnel

LE 22838,007 mms for the open air work.

LE 210940,231 mms

Sum from which LE 176,392 mms wre deducted for stones used in the masonry.

The contractor started at once the equipment of the place. The Ministry also erected a resthouse for the Resident Engineer.

with Ibrahim Bey Rizk and Naguib Bey Ibrahim and afterwards to submit my proposals for the project. Later, I was also asked by the Ministry of Public Works to act as a consulting engineer for the execution of the work.

The first problem was to choose a cross section as small as possible for avoiding too high expenses but large enough for a discharge of 50 m3 / sec. The grade of the tunnel was given to 0.25 m. per 1000 ms. The theoretical calculation of the discharge of such a tunnel is not different from that of an open air canal so long as the section is not filled. The main difficulty was to introduce the right coefficient of friction. The discharge was calculated by means of the formulae of Chezy and Ganguillet and Kutter.

Chézy : $v = C\sqrt{mi}$ m = hydraulic radius; i = grade
v = velocity

Ganguillet and Kutter :

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{m}}}$$

n was chosen to 0.013, takem from a publication of Dr. I. Buschi in a Swiss periodical (Schweizeriche Bauzeitung) published in 1928. Dr. I. Buschi, a well known Swiss consulting engineer for electric power schemes carried out a series of measurements in several water tunnels, free flow tunnels as well as tunnels under pressure, with different kinds of lining, even without lining, and he found out this coefficient 0.013 for gunite lining.

The standerd cross sections were proposed as shown in fig. 2. Type A was not used. It was assumed that the southern part of the tunnel could be left without lining. But the rock was found softer than expected and it was found safer to line it on its whole length. The excess of expenditure due to this fact was not great because also type C which was foreseen to be used in a great length on the northern part, could be replaced by the cheaper type B. But few metres at both portals, the whole length of the tunnel is of type B.

From a hydraulic point of view the most delicate parts of the design were inlet and outlet, the connection of the narrow tunnel section (8.86 m. at the bottom) with the wide section of the canal (26 m). Not only the width is different, but also the slope of the

THE LAHAWA TUNNEL

It is certainly a great honour to be given the opportunity of delivering a paper to this distinguished Society on the first tunnel built in modern Egypt. I say modern Egypt, because ages ago the ancient Egyptians built in Sakkarah, Thebes and other places tunnels, though for quite different purposes and of a smaller size, yet of so respectable dimensions- that we sometimes wonder how they did it and how long it took them to do it.

I am not going to speak to you about the irrigation scheme based on the erection of the Nag Hamadi barrage. Most people here are more entitled to deal with that question. It is not, of course. what you expect me to do. You know that upstream of that new barrage two long and large canals start one on the left bank of the Nile, the Fouadieh Canal, the other, the longer one of about 65 Kms. on the right bank, the Faroukieh Canal. Opposite Girga, that long streak of land lying between the Nile and the hills of the desert looks rather narrow. The hills border the Nile. On one place, before one reaches Gebel Lahaywa, the rocky hills drop directly into the river, but this part being not high, it was possible to dig the canal by means of a cutting blown out of the rock.

Near Km. 47, however, the Gebel Lahaywa forms at a length of about 1000 m. a barrier which on the axis of the canal reaches a height of about 180 ms. It was found impossible to cross this barrier except through a tunnel fig. 1.

GEOLOGY: On August 1925 the site was geologically tested by Mr. Gerald Robinson, then Act. Director of the Geological Survey, from the point of view of constructing a tunnel of 700 ms. in length. He expected the southern third of the tunnel to be in massive limestone, the centre third in limestone less massive, and the northern third in beds of nodular (lumpy) limestone and marl.

DESIGN: Being the first experience of Egyptian irrigation engineers to design a tunnel, I was asked to give some advice and help. It was in October 1928 when I was first asked to visit the site

THE LAHAYWA TUNNEL

PAPER DELIVERED

BY

Dr. C. ANDREAE

TO THE

ROYAL SOCIETY OF EGYPTIAN ENGINEERS

IN CAIRO on 25th of January 1934

Imp. Al-Ettemad Press, Cairo.